



С. П. Санников

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ

Самостоятельная работа № 1

Екатеринбург
2012

Электронный архив УГЛТУ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Кафедра автоматизации производственных процессов

С. П. Санников

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ

Методические указания для самостоятельной работы № 1
Направление ВПО 220300, 220200, 220400, 220700

Екатеринбург
2012

Рассмотрены и рекомендованы к изданию методической комиссией
лесоинженерного факультета УГЛТУ
Протокол № 1 от 8.09.11 г.

Рецензент: Ордуянц Г. Г., доц. каф. АПП, канд. техн. наук

Редактор Л. Д. Черных
Оператор компьютерной верстки Т. В. Упорова

Подписано в печать 14.05.12	Печ. л. 1,16	Формат 60×84 1/16
Плоская печать	Заказ №	Тираж 50 экз.
Поз. 4		Цена 6 руб. 52 коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии

Занятие 1

**ВВЕДЕНИЕ.
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ
МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ**

Методологическая основа моделирования

Моделирование — это замещение одного объекта другим с целью получения информации о важнейших свойствах объекта-оригинала с помощью объекта-модели путем проведения эксперимента с моделью.

Объект (лат. *objectum* — предмет) — все то, на что направлена человеческая деятельность. *Технический объект* — машина, механизм, технический комплекс, технологический процесс, а также любой их компонент, выделяемый в процессе моделирования путем деления структуры целостного объекта на отдельные блоки, части, элементы.

Гипотеза — определенные предсказания, предположения, основанные на небольшом количестве опытных данных, наблюдений, догадок.

Аналогия — суждение о каком-либо частном сходстве двух объектов.

Эксперимент — процедура организации наблюдений каких-то явлений, которые осуществляют в условиях, близких к естественным условиям, либо имитируют их. Различают *пассивный* эксперимент, когда исследователь наблюдает протекающий процесс, и *активный*, когда наблюдатель вмешивается и организует протекание процесса.

В общем процесс моделирования представлен следующим образом: используя априорные (ранее известные) данные об объекте, выдвигается гипотеза, по которой на основе аналогии строится наглядная упрощенная логическая схема (модель) и с ней проводится эксперимент для изучения свойств объекта.

Модель (лат. *modulus* — мера) — объект — заместитель объекта-оригинала, обеспечивающий изучение некоторых свойств оригинала.

Модель считается *адекватной*, если с приемлемой точностью выходные параметры модели (свойства, характеристики) совпадают с истинными их значениями объекта. Адекватность зависит от цели моделирования и принятых критериев.

Моделирование состоит из двух стадий: анализа и синтеза.

При *анализе* задана модель, необходимо определить и исследовать неизвестные ее характеристики.

Этапы анализа:

- 1) составление модели объекта, наиболее подходящей с позиции получения требуемых функций;
- 2) написание программ оценки характеристик модели;
- 3) определение характеристик объекта по модели с помощью программ оценки.

При *синтезе* задаются требуемые характеристики объекта, необходимо получить некоторую модель, которая обеспечивала бы заданные характеристики. Если определяют наилучшие структуру и параметры, то синтез называется *оптимизацией* структурной или параметрической, соответственно.

Этапы синтеза:

- 1) создание исследовательской модели;
- 2) анализ этой модели и определение ее функций;
- 3) сравнение полученных результатов с заданными требованиями.

Если результаты и требования не совпадают, то необходимо синтезировать сначала, то есть процесс итерационный.

Например, проектирование АСОИУ делится на внешнее (макропроектирование) и внутреннее (микропроектирование). При использовании методов моделирования на каждой стадии осуществляется и анализ, и синтез.

На стадии *макропроектирования* АСОИУ при анализе изучают объект управления и строят обобщенную модель объекта управления для оценки его характеристик, модель воздействий внешней среды, определяют критерии оценки эффективности, имеющиеся ресурсы, необходимые ограничения. При синтезе на основе модели объекта выбирают эффективную стратегию управления.

На стадии *микропроектирования* АСОИУ в процессе анализа разрабатывают модели информационного, математического, технического обеспечения подсистем АСОИУ, при синтезе – по характеристикам моделей подсистем выбирают наиболее эффективные по управлению с учетом заданных требований.

На этапах разработки АСОИУ различных уровней (отраслевые АСУ, АСУ объединениями и предприятиями, автоматизированные системы научных исследований и комплексных испытаний, системы автоматизации проектирования, АСУ технологическими процессами, а также интегрированные АСУ) необходимо учитывать следующие *особенности*:

- сложность структуры,
- стохастичность связей между элементами,
- неоднозначность алгоритмов поведения при различных условиях,
- большое количество параметров и переменных,
- неполноту и недетерминированность исходной информации,
- разнообразие и вероятностный характер воздействий внешней среды и т.д.

Различают два основных метода моделирования с использованием ЭВМ:

аналитический — применяется для анализа характеристик модели, полученной по упрощенным аналитическим зависимостям. ЭВМ используется только как вычислитель этих зависимостей;

имитационный (машинный) — позволяет не только анализировать характеристики модели, но и проводить структурный, алгоритмический и параметрический синтез модели на ЭВМ при заданных критериях оценки эффективности и ограничениях.

Занятия 2, 3

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ

1.1. Принципы системного подхода в моделировании систем

Подходы к исследованию систем. Система — это множество компонент, взаимодействующих друг с другом и служащих общему назначению, или цели (рис. 1.1).

Система S — целенаправленное множество взаимосвязанных элементов любой природы.

Внешняя среда E — множество существующих вне системы элементов любой природы, оказывающих влияние на систему или находящихся под ее воздействием.

Структура системы — совокупности связей между элементами системы, отражающих их взаимодействие.

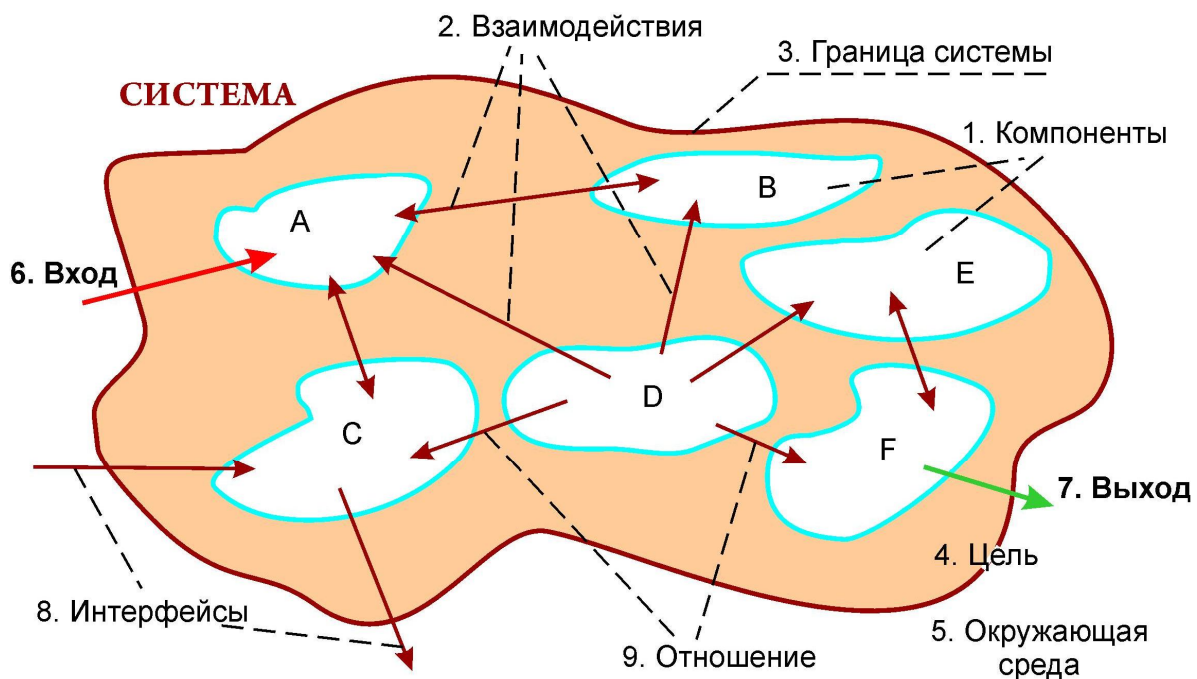
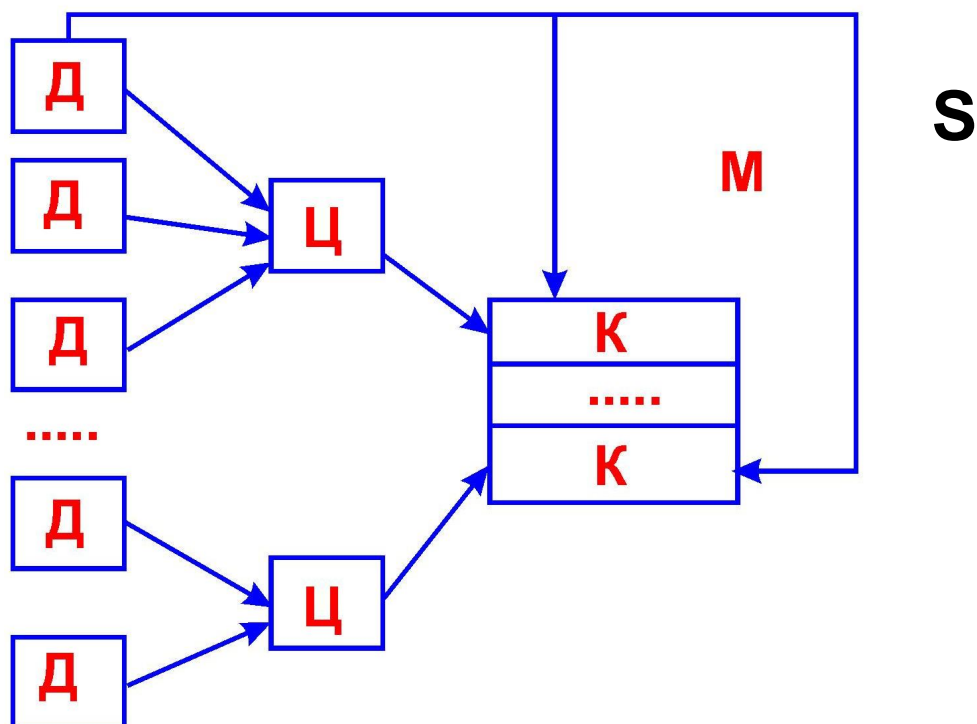


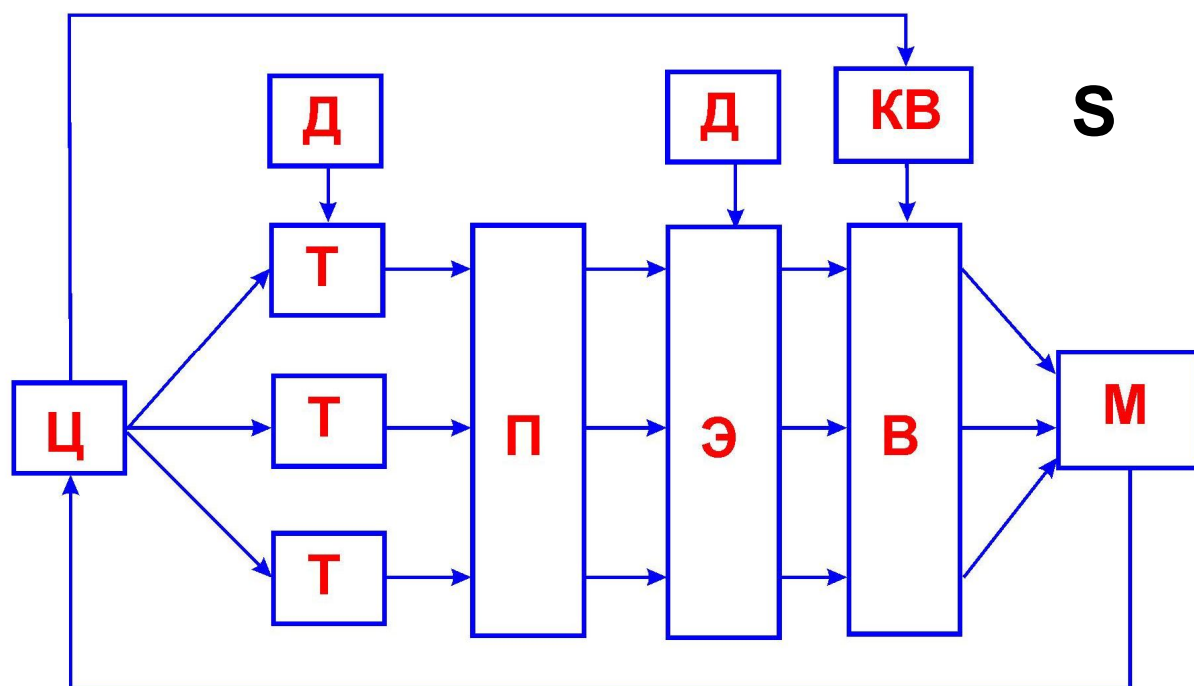
Рис. 1.1. Характеристики системы

Существуют два подхода моделирования системы: классический и системный.

Классический — синтез системы осуществляется путем суммирования отдельных компонент в единую модель, причем каждая из компонент разработана отдельно, решает свои собственные задачи и изолирована от других частей модели. Процесс моделирования осуществляется от частного к общему. Процесс синтеза модели M на основе классического (индуктивного) подхода представлен на рис.1.2, а.



a



б

Рис. 1.2. Процесс синтеза модели на основе подходов:
a — классического и *б* — системного
М — модель; *Д* — исходные данные; *Т* — исходные требования;
В — выбор; *П* — подсистема; *Э* — элемент; *S* — системы;
КВ — критерии выбора; *Ц* — цель; *К* — компонента

Реальный объект, подлежащий моделированию, разбивается на отдельные подсистемы, т.е. выбираются исходные данные D для моделирования и ставятся цели C , отображающие отдельные стороны процесса моделирования. По отдельной совокупности исходных данных D ставится цель моделирования отдельной стороны функционирования системы, на базе этой цели формируется некоторая компонента K будущей модели. Совокупность компонент объединяется в модель M . Классический подход может быть использован для реализации сравнительно простых моделей, в которых возможно разделение и взаимно независимое рассмотрение отдельных сторон функционирования реального объекта.

Системный — в основе синтеза лежит рассмотрение системы (объекта) как интегрированного целого, причем это рассмотрение при разработке начинается с главного — формулировки цели функционирования. Процесс синтеза модели M на базе системного подхода условно представлен на рис.1.2, б. На основе исходных данных D , которые известны из анализа внешней системы, тех ограничений, которые накладываются на систему сверху, либо исходя из возможностей ее реализации, и на основе цели функционирования формулируются исходные требования T к модели системы S . На базе этих требований формируются определенные подсистемы P , элементы \mathcal{E} и осуществляется наиболее сложный этап синтеза — выбор B составляющих системы, для чего используются специальные критерии выбора KB . Процесс моделирования осуществляется от общего к частному.

При системном подходе к моделированию систем структура системы может изучаться:

- извне с точки зрения состава отдельных подсистем и отношений между ними (структурный подход);
- изнутри, когда анализируются отдельные свойства, позволяющие системе достигать заданную цель, т.е. когда изучаются функции системы (функциональный подход).

При *структурном подходе* выявляются состав выделенных элементов системы S и связи между ними. Структура системы в зависимости от цели исследования может быть описана на разных уровнях рассмотрения. Наиболее общее описание структуры — это топологическое описание с помощью теории графов.

Более детальным является функциональное описание, когда рассматриваются отдельные функции, т.е. алгоритмы поведения системы, и реализуется *функциональный подход*, оценивающий функции, которые выполняет система, причем под функцией понимается свойство, приводящее к достижению цели. Свойства могут быть выражены в виде либо некоторых характеристик элементов S_{ij} и подсистем S_i системы, либо системы S в целом.

Функционирование системы — проявление функций системы во времени $S(t)$ означает переход системы из одного состояния в другое, то есть движение в пространстве состояний Z .

Независимо от типа используемой модели M при ее построении необходимо руководствоваться *принципом системного подхода*:

- 1) иерархичности;
- 2) локальной оптимизации;
- 3) декомпозиции;
- 4) целостностью отдельных обособленных стадий построения модели.

Модель M должна отвечать заданной цели ее создания, поэтому отдельные части должны компоноваться взаимно, исходя из единой системной задачи. Цель может быть сформулирована *качественно*, тогда она будет обладать большей содержательностью и длительное время может отображать объективные возможности данной системы моделирования. При *количественной* формулировке цели возникает *целевая функция*, которая точно отображает наиболее существенные факторы, влияющие на достижение цели.

1.2. Общая характеристика проблемы моделирования систем

Характеристики моделей систем. При моделировании рассматривают следующие *характеристики* моделей.

1. *Цель функционирования* определяется степенью целенаправленности поведения модели M . Модели могут быть разделены на одноцелевые, предназначенные для решения одной задачи, и многоцелевые, позволяющие разрешить или рассмотреть ряд сторон функционирования реального объекта.

2. *Сложность* оценивается по общему числу элементов в системе и связей между ними. В качестве элементов можно выделить уровни иерархии, отдельные функциональные подсистемы в модели M , входы и выходы и т.д.

3. *Целостность* указывает на то, что создаваемая модель M является одной целостной системой $S(M)$, включает в себя большое количество составных частей (элементов), находящихся в сложной взаимосвязи друг с другом.

4. *Неопределенность* проявляется в системе: по состоянию системы, возможности достижения поставленной цели, методам решения задач, достоверности исходной информации и т.д. Основной характеристикой неопределенности служит мера информации — энтропия, позволяющая в ряде случаев оценить количество управляющей информации, необходимой для достижения заданного состояния системы. При моделировании основная цель — получение требуемого соответствия модели реальному объекту, и в этом смысле количество управляющей информации в модели можно также оценить с помощью энтропии и найти то предельное минимальное количество, которое необходимо для получения требуемого результата с заданной достоверностью.

5. *Поведение* системы позволяет оценить эффективность достижения системой поставленной цели. В зависимости от наличия случайных воздействий можно различать детерминированные и стохастические системы, по своему поведению – непрерывные, дискретные и т.д. Поведение системы S позволяет применительно к модели M оценить эффективность построенной модели, а также точность и достоверность полученных при этом результатов. Очевидно, что поведение модели M не обязательно совпадает с поведением реального объекта, причем часто моделирование может быть реализовано на базе иного материального носителя.

6. *Адаптивность* — способность приспособиться к различным внешним возмущающим факторам в широком диапазоне изменения воздействий внешней среды, а также изучение поведения модели в изменяющихся условиях, близких к реальным. Существенным может оказаться вопрос устойчивости модели к различным возмущающим воздействиям.

7. *Организационная структура* системы моделирования как комплекс технических средств, информационного, математического и программного обеспечения системы моделирования позволяет оптимизировать время моделирования и точность получаемых результатов.

8. *Управляемость* модели со стороны экспериментаторов для получения возможности рассмотрения протекания процесса в различных условиях, имитирующих реальные. Наличие многих управляемых параметров и переменных модели в реализованной системе моделирования дает возможность поставить широкий эксперимент и получить обширный спектр результатов.

9. *Возможность развития* модели позволяет создавать мощные системы моделирования для исследования многих сторон функционирования реального объекта.

Цели и проблемы моделирования систем. Любую модель строят в зависимости от цели, которую ставит перед ней исследователь, поэтому одна из основных проблем при моделировании — это проблема целевого назначения. Подобие процесса, протекающего в модели M , реальному процессу является не целью, а условием правильного функционирования модели, поэтому в качестве *цели* должна быть поставлена задача изучения какой-либо стороны функционирования объекта (контроль параметров, оценка характеристик, управление объектом, прогнозирование поведения объекта).

Для упрощения модели M цели делят на подцели и создают более эффективные виды моделей в зависимости от полученных подцелей моделирования. Например, для отраслевых АСУ наиболее существенными целями являются задачи прогноза, потребления, сбыта продукции, размещение предприятий по отрасли с учетом всевозможных факторов (наличие сырья, людских ресурсов, энергии и т.д.). Для АСУ предприятием весьма существенно изучение процессов оперативного управления производством, оперативно-календарного планирования, перспективного планирования.

Далее определяются с целью функционирования системы, которая обеспечивала бы эффективную работу системы, например минимизация вероятности отказа в обслуживании приборов, максимизация загрузки устройств, устойчивость системы, чувствительность к изменению параметров.

Если цель моделирования и функционирования системы ясна, то возникает следующая проблема: *построение* модели M . Построение модели оказывается возможным, если имеется информация или выдвинуты гипотезы относительно структуры, алгоритмов и параметров исследуемого объекта. На основании их изучения осуществляется идентификация объекта.

Если модель M построена, то следующей проблемой можно считать проблему работы с ней, т.е. *реализацию* модели, основные задачи которой — минимизация времени получения конечных результатов и обеспечение их достоверности.

Для правильно построенной модели M характерным является то, что она выявляет лишь те закономерности, которые нужны исследователю, и не рассматривает несущественные для данного исследования свойства системы S .

Таким образом, характеризуя проблему моделирования в целом, необходимо учитывать, что от постановки задачи моделирования до интерпретации полученных результатов существует большая группа сложных *научно-технических проблем*:

- идентификация реальных объектов;
- выбор вида моделей;
- построение моделей и их машинная реализация;
- взаимодействие исследователя с моделью в ходе машинного эксперимента;
- проверка правильности полученных в ходе моделирования результатов;
- выявление основных закономерностей, исследованных в процессе моделирования.

Средства вычислительной техники, которые в настоящее время широко используются либо для вычислений при аналитическом моделировании, либо для реализации имитационной модели системы, могут лишь помочь с точки зрения эффективности реализации сложной модели, но не позволяют подтвердить правильность той или иной модели. Только на основе отработанных данных, опыта исследователя можно с достоверностью оценить адекватность модели по отношению к реальному процессу.

1.3. Классификация видов моделирования систем

Классификационные признаки. В основе моделирования лежит *теория подобия*, которая утверждает, что абсолютное подобие может иметь место лишь при замене одного объекта другим, точно таким же. При моделировании абсолютное подобие не имеет места и стремятся к тому, чтобы мо-

дель достаточно хорошо отображала исследуемую сторону функционирования объекта.

Классификация видов моделирования систем приведена на рис. 1.3.

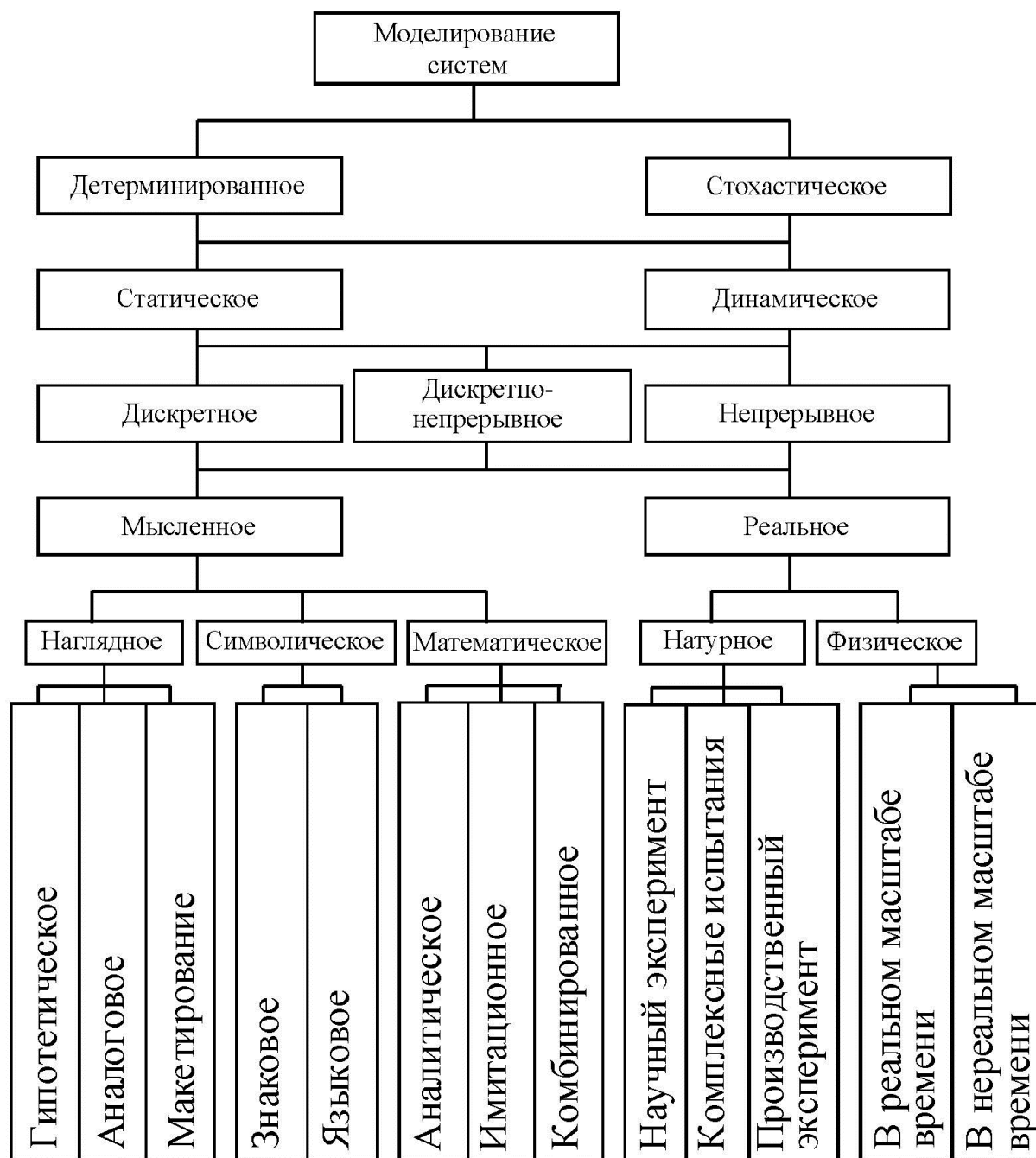


Рис. 1.3. Классификация видов моделирования систем

По степени полноты подобия модели изучаемому объекту различают *полные* (подобие как во времени, так и в пространстве), *неполные* (подобие либо во времени, либо в пространстве) и *приближенные* (некоторые стороны функционирования реального объекта не моделируются совсем).

В зависимости от характера изучаемых процессов в системе все виды моделирования могут быть разделены на детерминированные и стохастические, статические и динамические, дискретные, непрерывные и дискретно-непрерывные.

Детерминированное моделирование отображает детерминированные процессы, т.е. процессы, в которых предполагается отсутствие всяких случайных воздействий; *стохастическое* моделирование отображает вероятностные процессы и события. *Статическое* моделирование служит для описания поведения объекта в какой-либо момент времени, а *динамическое* моделирование отражает поведение объекта во времени. *Дискретное* моделирование служит для описания процессов, которые предполагаются дискретными, соответственно *непрерывное* моделирование позволяет отразить непрерывные процессы в системах, *дискретно-непрерывное* моделирование используется для случаев, когда хотят выделить наличие как дискретных, так и непрерывных процессов.

В зависимости от формы представления объекта (системы) можно выделить мысленное и реальное моделирование.

При мысленном моделировании невозможно физически создать модель, или она практически нереализуема в заданном интервале времени. Мысленное моделирование может быть реализовано с помощью наглядного, символического и математического моделирования.

При наглядном моделировании на базе представлений человека о реальных объектах создаются различные наглядные модели, отображающие явления и процессы, протекающие в объекте.

В основу *гипотетического* моделирования исследователем закладывается некоторая гипотеза о закономерностях протекания процесса в реальном объекте, которая отражает уровень знаний исследователя об объекте и базируется на причинно-следственных связях между входом и выходом изучаемого объекта. Гипотетическое моделирование используется, когда знаний об объекте недостаточно для построения формальных моделей.

Аналоговое моделирование основывается на применении аналогий различных уровней. Наивысшим уровнем является полная аналогия, имеющая место только для достаточно простых объектов. С усложнением объекта используют аналогии последующих уровней, когда аналоговая модель отображает несколько либо только одну сторону функционирования объекта.

Мысленный макет или *макетирование* базируется на причинно-следственных связях между явлениями и процессами в объекте и применяется в случаях, когда протекающие в реальном объекте процессы не поддаются физическому моделированию, либо может предшествовать проведению других видов моделирования.

Символическое моделирование — искусственный процесс создания логического объекта, выражающего основные свойства его отношений с помощью определенной системы знаков, отображающих набор понятий, (зна-

ковое моделирование) и символов из тезауруса — словаря, очищенного от неоднозначности (языковое моделирование).

Математическое моделирование — процесс установления соответствия данному реальному объекту некоторой математической модели и исследование этой модели для получения характеристик объекта. Математическое моделирование делится на аналитическое, имитационное и комбинированное.

При *аналитическом* моделировании свойства, процессы объекта описываются в виде функциональных соотношений (алгебраических, интегродифференциальных, конечно-разностных и т. п.) или логических условий, которые решаются либо в общем виде, либо при конкретных начальных данных (численными методами на ЭВМ), либо качественно (например, оценка устойчивости решения).

При *имитационном* моделировании с помощью ЭВМ осуществляется синтез структуры, алгоритмов и параметров модели, а также анализ и поиск оптимального варианта системы по некоторым критериям оценки эффективности. Когда результаты, полученные при воспроизведении на имитационной модели функционирования системы, являются реализациями случайных величин и функций, тогда для нахождения характеристик процесса требуется его многократное воспроизведение с последующей статистической обработкой информации.

Комбинированное (аналитико-имитационное) моделирование при анализе и синтезе систем позволяет объединить достоинства аналитического и имитационного моделирования. При построении комбинированных моделей проводится предварительная декомпозиция процесса функционирования объекта на составляющие подпроцессы, и для тех из них, где это возможно, используются аналитические модели, а для остальных подпроцессов строятся имитационные модели.

При *реальном* моделировании исследуются различные характеристики на реальном объекте целиком либо на его части. Реальное моделирование делят на натурное и физическое.

При *натурном* моделировании исследования проводят на реальном объекте с последующей обработкой результатов эксперимента на основе теории подобия. *Научный эксперимент* характеризуется использованием средств автоматизации проведения активного эксперимента и обработки информации. При *комплексных испытаниях* вследствие повторения испытаний изделий выявляются общие закономерности о надежности этих изделий, о характеристиках качества и т.д., при этом в реально протекающий процесс вводятся критические ситуации и определяются границы устойчивости. *Производственный эксперимент* связан с обобщением опыта, накопленного в ходе производственного процесса.

При *физическом* моделировании исследования проводятся на установках, которые сохраняют природу явлений и обладают физическим подобием.

Физическое моделирование может протекать в *реальном* и *нереальном* (псевдореальном) *масштабах времени*, а также может просматриваться без учета времени, например, так называемые «замороженные» процессы, которые фиксируются в некоторый момент времени.

Особое место в моделировании занимает *кибернетическое* моделирование, в котором отсутствует непосредственное подобие физических процессов, происходящих в моделях, реальным процессам. Реальный объект рассматривают как «черный ящик», имеющий ряд входов и выходов, исследуемую функцию реального объекта формализуют в виде некоторых операторов связи между входом и выходом, причем на базе совершенно иных математических соотношений и, естественно, иной физической реализации процесса.

1.4. Возможности и эффективность моделирования систем на вычислительных машинах

Средства моделирования систем. При математическом моделировании используются три основных средства моделирования систем: аналоговые (АВМ), электронные вычислительные машины (ЭВМ) и гибридные вычислительные комплексы (ГВК).

АВМ используется при аналитическом моделировании для ускорения составления и расчета характеристик простой модели. Однако при использовании АВМ повышается погрешность, т.е. уменьшается точность результатов, которая дополнительно ограничена точностью приборов.

ЭВМ используется для расчета характеристик математической аналитической модели, а также и при имитационном моделировании. Современные ЭВМ можно разделить на две группы: *универсальные*, предназначенные для выполнения расчетных работ, и *управляющие*, позволяющие проводить не только расчетные работы, но, прежде всего, приспособленные для управления объектами в реальном масштабе времени, а также и для имитационного моделирования.

ГВК сочетает высокую скорость функционирования аналоговых средств и высокую точность расчетов на базе цифровых средств вычислительной техники. Аналоговая часть ускоряет получение конечных результатов, сохраняя некоторую наглядность протекания реального процесса, а цифровая позволяет осуществить контроль за реализацией модели, создать программы по обработке и хранению результатов моделирования, обеспечивает эффективный диалог исследователя с моделью.

Обеспечение имитационного моделирования. *Имитационная система* реализуется на ЭВМ и позволяет исследовать имитационную модель M , задаваемую в виде определенной совокупности отдельных блочных моделей и связей между ними в их взаимодействии в пространстве и времени при реализации какого-либо процесса. Можно выделить три основные группы блоков:

- блоки, характеризующие моделируемый процесс функционирования системы S ;
- блоки, отражающие внешнюю среду E и ее воздействие на реализуемый процесс;
- блоки, играющие служебную вспомогательную роль, обеспечивая взаимодействие первых двух, а также выполняющие дополнительные функции по получению и обработке результатов моделирования.

Кроме того, имитационная система характеризуется набором переменных, с помощью которых удастся управлять изучаемым процессом, и набором начальных условий, когда можно изменять условия (план) проведения машинного эксперимента.

Математическое обеспечение имитационной системы — совокупность математических соотношений, описывающих поведение реального объекта, совокупность алгоритмов, обеспечивающих как подготовку (ввод исходных данных), так и работу с моделью (имитация, вывод, обработка результатов).

Программное обеспечение — совокупность программ: планирования эксперимента, имитационной модели, проведения эксперимента, обработки и интерпретации результатов, синхронизации процессов в модели (псевдо-параллельное выполнение процессов в модели).

Информационное обеспечение — средства и технология организации и реорганизации базы данных моделирования, методы логической и физической организации массивов, формы документов, описывающих процесс моделирования и его результаты.

Техническое обеспечение — средства вычислительной техники, связи и обмена между оператором и сетью ЭВМ, ввода и вывода информации, управления проведением эксперимента.

Эргономическое обеспечение — совокупность научных и прикладных методик и методов, а также нормативно-технических и организационно-методических документов, создающих оптимальные условия для высокопроизводительной деятельности человека во взаимодействии с моделирующим комплексом.

Достоинства и недостатки имитационного моделирования.

Основные *достоинства* имитационного моделирования при исследовании сложных систем:

- возможность исследовать особенности процесса функционирования системы S в любых условиях;
- существенное сокращение за счет применения ЭВМ продолжительности испытаний по сравнению с натурным экспериментом;
- возможность использовать результаты натурных испытаний реальной системы или ее частей для проведения имитационного моделирования;
- гибкость варьирования структуры, алгоритмов и параметров моделируемой системы при поиске оптимального варианта системы;

- для сложных систем — это единственный практически реализуемый метод исследования процесса функционирования систем.

Основные *недостатки* имитационного моделирования:

- необходимость многократно воспроизводить имитационный эксперимент, варьируя исходные данные задачи, для полного анализа характеристик процесса функционирования систем и поиска оптимального варианта;
- большие затраты машинного времени.

Эффективность машинного моделирования. При моделировании необходимо обеспечить максимальную эффективность модели системы. *Эффективность* обычно определяется как некоторая разность между какими-то показателями ценности результатов, полученных при эксплуатации модели, и теми затратами, которые были вложены в ее разработку и создание.

Эффективность имитационного моделирования может оцениваться рядом критериев:

- точностью и достоверностью результатов моделирования;
- временем построения и работы с моделью M ;
- затратой машинных ресурсов (время и память);
- стоимостью разработки и эксплуатации модели.

Наилучшей оценкой эффективности является сравнение полученных результатов с реальными исследованиями. С помощью статистического подхода с определенной степенью точности (в зависимости от числа реализаций машинного эксперимента) получают усредненные характеристики поведения системы.

Суммарные затраты машинного времени складываются из времени по вводу и выводу по каждому алгоритму моделирования, времени на проведение вычислительных операций, с учетом обращения к оперативной памяти и внешним устройствам, а также сложности каждого моделирующего алгоритма и планирования экспериментов.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Альянах И.Н. Моделирование вычислительных систем / Л.: Машиностроение, 1988. 233 с.

Введение в математическое моделирование: учеб. пособие для вузов / под ред. П.В.Тарасова. М.: Интермет Инжиниринг, 2000. 200 с.

Ивченко Г.И. Математическая статистика: учеб. пособие для вузов / Г.И. Ивченко, Ю.И. Медведев. М.: Высш. шк., 1984. 248 с.

Мурашев В. П. Расчет и моделирование электромеханических систем: Учеб. пособие для студентов специальностей 210200, 170400/ В. П. Мурашев; Моск. гос. ун-т леса. 2-е изд., стер. М.: МГУЛ, 2002. 136 с.: ил. Библиогр.: с. 132.

Косоруков О. А. Исследование операций: учебник для студентов вузов/ под ред. Н. П. Тихомирова; Рос. экон. акад. им. Г. В. Плеханова. М.: Экзамен, 2003. 448 с.

Обвинцев В. В. Информационное обеспечение лесопромышленного производства: учеб. пособие для студентов вузов/ В. В. Обвинцев; Урал. гос. лесотехн. ун-т. Екатеринбург: [УГЛТУ], 2005. 203 с.

Советов Б.Я. Моделирование систем : учеб. для вузов / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. М. : Высш. шк., 2001. 343 с.

Советов Б.Я. Моделирование систем : учеб. для вузов / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. 2-е изд. М.: Высшая школа, 1998. 319 с.

Советов Б. Я. Моделирование систем: практикум : учеб. пособие для студентов вузов/ Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Высшая школа, 2003. 295 с.

Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем: учеб. для вузов / В.П. Тарасик. М.: Наука, 1997. 600 с.

Томашевский В. Н. Имитационное моделирование в среде GPSS / В. Н. Томашевский, Е. Г. Жданова. М.: Бестселлер, 2003. 416 с.

Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон. М.: Мир, 1978. 308 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Занятие 1

ВВЕДЕНИЕ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ	3
--	----------

Занятия 2, 3

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ	6
1.1. Принципы системного подхода в моделировании систем	6
1.2. Общая характеристика проблемы моделирования систем	9
1.3. Классификация видов моделирования систем	11
1.4. Возможности и эффективность моделирования систем на вычислительных машинах	15

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	18
--	-----------